Ciencia Investigación Academia Desarrollo

Modelo de propagación de interiores para la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital

Luis Fernando Pedraza Martinez[1]

Cesar Augusto Hernández Suarez [2]

Octavio José Salcedo Parra[3]

Resumen

En este artículo se presenta un modelo de propagación de interiores para la telefonía móvil en la Facultad de Tecnología de la Universidad Distrital. Las mediciones de potencia de la señal se realizan en la banda de 850 MHz de Comcel, usando para ello el teléfono celular OT-C717A de marca Alcatel y el software Catcher. El resultado de esta investigación es un modelo de propagación con un margen de error menor al 10% para la señal de Comcel para la Facultad de Tecnología de la Universidad Distrital.

Palabras clave: Celda, Estación Base, Frecuencia, Modelo, Móvil, Posición, Propagación.

Indoor propagation model for the Distrital University

Abstract

This paper aims to design an experimental model of indoor propagation for wireless in the Faculty of Technology of the Distrital University. Measurements of signal in the 850 MHz band were obtained with the cell phone ALCATEL OT - C717A and software CATCHER. This software allows measuring the power of receiving of the signal emitted by one of the base stations belonging to the network of Comcel, in addition to the radio channels used by the network to communicate with the cell. The result of this research is a model of propagation with a margin of error of less than 10% for the signal Comcel in the Faculty of Technology of the Distrital University.

Key words: Cell, Base Station, Frequency, Mobile, Model, Position, Propagation.

1. INTRODUCCIÓN

Un modelo de propagación es un conjunto de expresiones matemáticas, diagramas y algoritmos usados para representar las características de radio de un ambiente dado.

Generalmente los modelos de predicción se pueden clasificar en empíricos o estadísticos, teóricos o determinísticos o una combinación de estos dos (semi-empíricos).

Mientras que los modelos empíricos se basan en mediciones, los modelos teóricos se basan en los principios fundamentales de los fenómenos de propagación de ondas de radio. Los modelos de propagación predicen la perdida por trayectoria que una señal de RF pueda tener entre una estación base y un receptor sea móvil o fijo. La ventaja de modelar radiocanales teniendo en cuenta las características de la trayectoria entre Transmisor (Tx) y Receptor (Rx), es conocer la viabilidad de los proyectos que se deseen planear en determinados sectores, de esta manera se podrá hacer una estimación acerca de la necesidad, costos y capacidad de los equipos requeridos. [1]

2. Modelos de propagación

En la figura 1, se presenta uno de los criterios para la clasificación de los modelos de propagación.

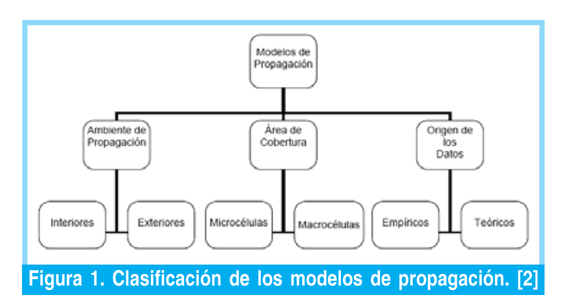


Figura 1. Clasificación de los modelos de propagación. [2]

Dentro de los modelos que se usan en el estudio de entornos interiores para móviles, en general predominan los de No Línea de Vista, aunque no se deben descartar los de Línea de Vista. En general se basan todos ellos en

[1] Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Universidad Distrital. Docente Universidad Distrital.

[2] Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones, Universidad Distrital. Docente Universidad Distrital.

[3] Docente de Planta de la Maestría en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital.

Artículo recibido en Junio de 2008, aprobado para publicación en Agosto de 2008

medidas experimentales. Dentro del método COST 231(método usado para entornos exteriores) [3], se han propuesto modelos de análisis simplificados como los descritos a continuación.

2.1 Modelo de pendiente única

Este es el modelo de referencia a usar en este artículo, para predecir las perdidas en los entornos interiores:

$$L(dB) = L_0 + 10n\log d\ (m) \qquad (1)$$

Donde:

L_0 y n dependen de la frecuencia y del entorno de propagación, con valores calculados para minimizar el error cuadrático medio de los valores medidos experimentalmente. [4]

2.2 Modelo de múltiples paredes

Este modelo precisa datos reales y exactos del entorno para deducir resultados fiables. Es un modelo completamente empírico, que parte del modelo de Motley:

$$L(dB) = L_0 + 10n\log d + \sum_{i=1}^{I} K_{fi}L_{fi} + \sum_{j=1}^{J} K_{wj}L_{wj} \qquad (2)$$

Donde:

d es la distancia en metros

n es la variación de potencia con la distancia

L_0 es la referencia de pérdidas a 1m de distancia

L_{fi} es el factor de perdidas por piso tipo i

L_{wj} es el factor de perdidas por pared tipo j

K_{fi} numero de piso tipo i atravesados

K_{wj} numero de paredes tipo j atravesadas.

2.3 Modelo UIT-R 8/1

En este modelo la expresión a considerar es:

$$L(dB) = L_0 + 10n\log d + L_f\ (n) \qquad (3)$$

Donde:

L_f es el factor de pérdidas de penetración en paredes y suelos obtenido a partir de $L_f(n)=15+4(n-1)$, siendo n el número de plantas entre transmisor y receptor. [5], [6], [7]

3. DESCRIPCIÓN DEL MODELO DE PROPAGACIÓN

Para el hallazgo de la ecuación del modelo de interiores, se parte de la ecuación del enlace:

$$Gs = PTx - PRx\ (dB) \qquad (4)$$

Donde:

Gs es la Ganancia del sistema

PTx es la potencia del transmisor

PRx es la potencia del receptor

Luego:

$$G = GTx - GRx\ (dBi) \qquad (5)$$

Donde:

G es la Ganancia de las antenas

GTx es la ganancia de la antena de transmisión

GRx es la ganancia de la antena de recepción

Y como:

$$Md\ (dB) = Ganancias\ (dB) - Pérdidas\ (dB) \qquad (6)$$

Donde:

Md es el Margen de desvanecimiento, el cual se define como la diferencia en dB entre el nivel de la potencia recibida PRx y el nivel mínimo de potencia que asegura una legibilidad en la llamada (sensibilidad). [8]

Y si se tiene:

$$Ganancias\ (dB) = Gs(dB) + G\ (dBi) \qquad (7)$$

Y además:

$$L\ (dB) = Lc(dB) + Lp(dB) \qquad (8)$$

Donde:

L son las pérdidas del sistema,

Lc son las pérdidas en cables y conectores,

Lp son las pérdidas por propagación.

Para el equipo celular cuyas antenas están integradas directamente en el hardware, las perdidas en cables y conectores no aplican, así que solo se tendrían en cuenta las perdidas en cables y conectores de la Estación Base (BTS).

Reemplazando (4), (5) y (8) en (6), se tiene:

$$Lp(dB) = PTx(PRx) + G - Lc - Md \qquad (9)$$

A partir del modelo de pendiente única se tiene entonces:

$$Lp(dB) = 10\log (kd)^{n} \qquad (10)$$

Donde:

d es la distancia entre transmisor y receptor

n es la perdida por trayectoria,

k es un factor dependiente de la propagación en el espacio libre.

Desarrollando (10) se tiene:

$$Lp(dB) = 10n\log(d)+10n\log(k) \qquad (11)$$

Realizando un cambio de variables (11) se convierte en:

$$Lp(dB) = C1\log(d)+K1 \qquad (12)$$

Donde:

C1= 10n

K1= 10nlog(k)

Ahora se puede expresar (12) en una forma que pueda resultar útil más adelante, sabiendo que:

$$\log_{10} (d) = \ln(d) / \ln(10) \qquad (13)$$

Por lo tanto, de (13) en (12):

$$Lp(dB) = C2\ln(d) + K1 \qquad (14)$$

Donde:

$$C2=C1/\ln(10)=10n / \ln(10) \qquad (15)$$

Con lo que se consigue:

$$n = C2\ln(10)/10 \qquad (16)$$

Y,

$$K = 10^{\,k1/10n} \qquad (17)$$

4. RESULTADOS

Inicialmente se ubican las BTS que se encuentran alrededor de la Facultad Tecnológica, como se observa en la figura 2.

Luego se usa el software Catcher para medir la potencia de recepción (figura 3) en los Bloques 1, 2, 3 y 4 de la Facultad, que poseen una estructura como la mostrada en la figura 4.

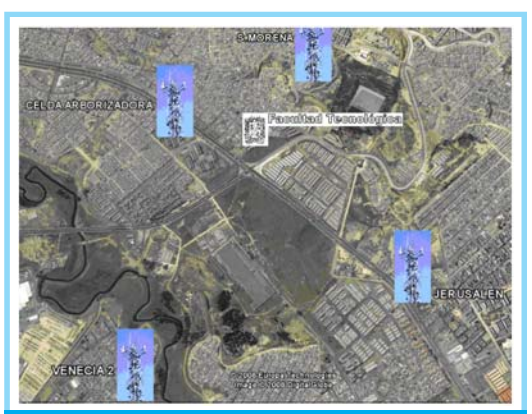


Figura 2. Estaciones base ubicadas alrededor de la Facultad de Tecnología

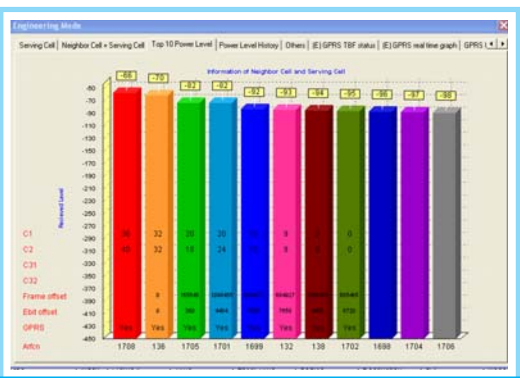


Figura 3. Medición de potencias de las BTS con mayor nivel de transmisión, usando el software Catcher.

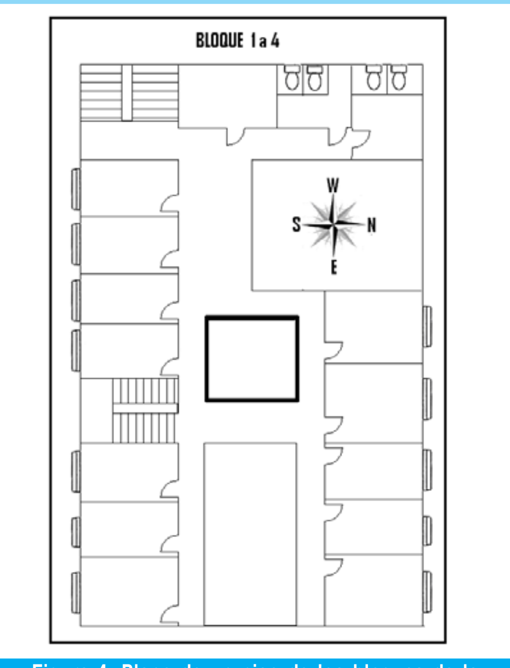


Figura 4. Plano de un piso de los bloques de la Facultad de Tecnología.

Adicionalmente, con este software se puede obtener el identificador de celda de la BTS, lo que permite indicar con que BTS el móvil tiene mejor nivel de recepción, que para este caso es

la BTS situada en el barrio Arborizadora, las características de esta BTS se presentan en la tabla I.

Tabla I. Características técnicas de la BTS Arborizadora.

ARBORIZADORA	
Lon 74°9'16,59" Lat 4°34'36,37"	
Sector	**Y**
Banda	850 MHz
Cell_Id	3462
Canal control	128
Altura	2567 m
Radio cobertura	1.65 Km
Ganancia de la antena	17 dBi
Potencia minima de transmisión	13 dBm
Potencia máxima de transmisión	33 dBm
Saltos de potencia	±2 dB
Perdidas cables/conectores	4 dB

Teniendo en cuenta la potencia mínima y máxima de transmisión de la BTS, dadas en la tabla I y la ubicación del móvil dentro del radio de la celda, la potencia a la que transmite la BTS en este punto es de alrededor de 17 dB. [9].

En la figura 5, se presenta la potencia recibida en un móvil, aquí un gran porcentaje de señales estarían por debajo de la sensibilidad del móvil (-102 dBm, ver tabla II), generalmente en el intervalo de 10 dB. Por lo tanto, para compensar estos desvanecimientos se toma un Md =10 dB.

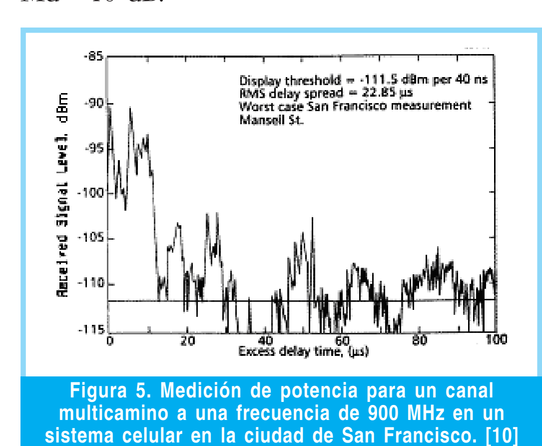


Figura 5. Medición de potencia para un canal multicamino a una frecuencia de 900 MHz en un sistema celular en la ciudad de San Francisco. [10]

Tabla II. Características técnicas del teléfono celular OT-C717A

Sensibilidad del móvil	-102 dBm
Ganancia de laantena	0,5 dBi

En la tabla III en cada columna se observan las distancias tomadas con ayuda de un GPS, las potencias promedio de cinco muestras recibidas y las perdidas obtenidas de la ecuación (9), con los datos planteados en las tablas I y II. A partir de los datos arrojados por la tabla III, se grafican las perdidas obtenidas con la ecuación de enlace y se realiza la línea de tendencia logarítmica, como se ve en la figura 6.

Tabla III. Pérdidas obtenidas de la ecuación de enlace.

Distancia (m)	Prx (dBm)	Pérdida con ecuación de enlace (dB)
457,8	-76,6	97,1
465,02	-81	101,5
468,27	-86	106,5
470,4	-89,3	109,8
477,52	-81,3	101,8
479,12	-89,3	109,8
484,64	-81,3	101,8
485,14	-83,3	103,8
486,2	-89,6	110,1
489,4	-87	107,5
493,2	-96,6	117,1
495,9	-92,6	113,1

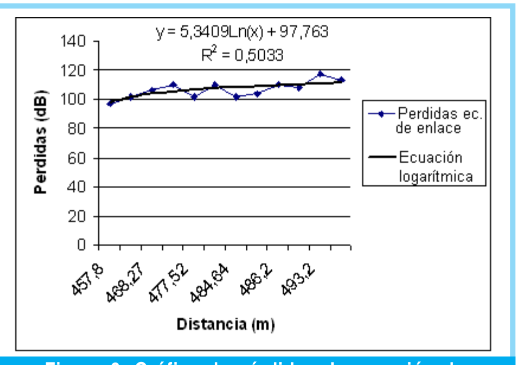


Figura 6. Gráfica de pérdidas de ecuación de enlace y ecuación logarítmica.

De esta línea de tendencia logarítmica, se encuentran los valores de la ecuación (14), donde: C2 = 5.3409 y K1= 97.763.

Reemplazando estos valores en las ecuaciones (16) y (17), se llega a n = 1.229 y k = 89039696.73, por lo que el modelo de pendiente única, para los bloques de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital, es:

$$Lp\,(dB) = 10\log(89039696.73d)^{1.229} \qquad (18)$$

A partir de la ecuación (18), se obtienen las perdidas con el modelo logarítmico, mostradas en la tabla III.

Tabla IV. Perdidas con modelo logarítmico de pendiente única.

Distancia (m)	Pérdida con modelo logarítmico (dB)
457,8	130,48366285
465,02	130,56723729
468,27	130,60443472
470,4	130,62867356
477,52	130,70890802
479,12	130,72677357
484,64	130,78795496
485,14	130,79346229
486,2	130,80511909
489,4	130,84015587
493,2	130,88146570
495,9	130,91062446

4.1 Evaluación del Modelo

Una vez diseñado el modelo de propagación una forma de evaluarlo es determinar el grado de precisión de este, por tal razón se analizaran algunos criterios estadísticos de significancia, como son:

- Coeficiente de Correlación
- Parsimonia
- Calidad de Ajuste.
- Error Cuadrático Medio
- Desviación Estándar en Valor Absoluto.

4.1.1. Coeficiente de Correlación

El coeficiente de correlación determina el grado de asociación entre dos variables, por lo tanto a partir de este se puede calcular en que porcentaje la variable independiente explica la variable dependiente. La ecuación para determinar el coeficiente de correlación se muestra en la ecuación 18.

$$R = \frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X . \sigma_Y} \qquad (18)$$

Donde,

ó$_{XY}$ es la covarianza de (X,Y),

ó$_{X}$ es la desviación estándar de X,

ó$_{Y}$ es la desviación estándar de Y.

Al calcular el coeficiente de correlación entre la variable independiente "distancia" y la variable dependiente "perdidas" se obtuvo como resultado R= 0.676, lo cual indica que la variable distancia explica en un 67.6% la variable perdidas, es decir, que si es posible encontrar un modelo matemático que relacione las dos variables, lo cual valida los resultados obtenidos hasta ahora.

4.1.2. Parsimonia

La idea de parsimonia es que un buen modelo tiene pocos parámetros ya que ha capturado las propiedades intrínsecas de la serie que se analiza, desde este punto de vista, el modelo de propagación obtenido presenta un buen grado de parsimonia.

4.1.3. Calidad de Ajuste

La calidad de ajuste de un modelo está definida como la suma de los cuadrados de los residuos dividida por el tamaño de la muestra, y su objetivo es medir la habilidad del modelo para reproducir los datos de la muestra, es decir verifica que tan parecida es la serie modelada con la real. [11].

Tabla V. Evaluación del Modelo de Propagación.

Criterios Estadísticos	Modelo de Propagación
Coeficiente de Correlación	0.676
Calidad de Ajuste	41.5057
Error Cuadrático Medio	23519.5841
Desviación Promedio Estándar en Valor Absoluto	3.2585

En la tabla V se muestra el valor de la calidad de ajuste para el modelo de propagación desarrollado.

4.1.4. Error Cuadrático Medio

Para esta investigación se decidió calcular el error cuadrático medio como el promedio del cuadrado de las desviaciones estándares de los valores estimados con respecto a los originales, con el fin de obtener un valor cuantitativo de la exactitud del modelo, ya que por definición el error cuadrático medio tendría el mismo valor del criterio calidad de ajuste, el cual no nos dice que tan eficaz es el modelo, solo nos permite compararlo con otros. El resultado cuantitativo del error cuadrático medio se muestra en la tabla V.

4.1.5. Desviación Estándar en Valor Absoluto

Debido a que el promedio de las desviaciones estándares de cada dato estimado no es significativamente objetivo en razón a que puede tomar valores positivos como negativos que afectan el resultado final, y a que tanto el error cuadrático medio como la calidad de ajuste castigan muy fuerte los errores absolutos grandes, se decidió tomar el promedio del valor absoluto de las desviaciones estándares de cada dato, cuyo resultado se muestra en la tabla V.

4.1 Evaluación Ex-Post del Modelo

En la realidad se puede sostener la tesis de que un modelo es realmente útil solo en la medida que anticipa la evolución de la variable explicada. En este sentido se está aceptando que se espere a que vengan las futuras observaciones para después analizar la calidad del modelo. Esto se denomina una evaluación

ex-post, y es una validación más fuerte en el sentido común, que el análisis de residuos. [12].

Para el modelo se pronosticaron cinco datos de pérdidas que fueron respectivamente comparados con los datos originales que no se tuvieron en cuenta para la realización del modelo. A pesar de la cantidad de muestras la tabla VI muestra la exactitud de los pronósticos en función de los estadísticos descritos anteriormente.

Tabla VI. Evaluación Ex-Post del Modelo de Propagación

Criterios Estadísticos	Modelo de Propagación
Coeficiente de Correlación	0.6763
Calidad de Ajuste	231.4325
Error Cuadrático Medio	23549.5841
Desviación Promedio Estándar en Valor Absoluto	7.6343

5. CONCLUSIONES

Un estudio de propagación de interiores, permite a un operador de telefonía móvil analizar la calidad de recepción de una señal dentro de una edificación y le da la posibilidad de homologar de una manera simple nuevos equipos móviles.

La propagación multicamino, así como la atenuación dada por los objetos interpuestos entre el móvil y la BTS, como paredes y suelos, hace que en dados casos el móvil aunque se encuentre a distancias más cercanas a la BTS, posea menores niveles de recepción.

Las potencias recibidas por el operador de telefonía móvil en este entorno, indica que los niveles de recepción son adecuados, ya que todos superan la sensibilidad del móvil celular.

Como trabajo futuro se recomienda la comparación con otros modelos de propagación de interiores y verificar cual se ajusta mejor a las condiciones del entorno.

Referencias Bibliográficas

[1] GARCIA J. C., RODRIGUEZ O. A., CASTILLO J. L. Desempeño de Modelos de Propagación en Comunicación Móvil para la zona de Caldas Parte 1: Modelos para áreas urbanas. X Congreso Internacional de Telecomunicaciones. Valdivia, Chile. 2002.

[2] MARANTE Francisco, TORRES Reinel, RODRIGUEZ Ernesto. Aproximación al estudio de modelos para la caracterización del canal de radio en comunicaciones móviles de 2.5G y 3G. V Congreso Internacional de Telemática y Telecomunicaciones (CITTEL 2008). La Habana, Cuba. Diciembre de 2008.

[3] MARVIN K. Simon, ALOUINI Mohamed. Digital Communication over Fading Channels. Second Edition. Editorial JOHN WILEY & SONS. 2005.

[4] SKLAR Bernard. Rayleigh Fading Channels in Mobile Digital Communication Systems Part I: Characterization". IEEE Communications Magazine 35 (7): 90 –100. July, 1997.

[5] GOLDSMITH Andrea. Wireless Communications. Cambridge University Press. 2005.

[6] STUBER Gordon. Principles of Mobile Communication. Second Edition. Kluwer Academic Publisher. pág. 108-112. 2006.

[7] SENDIN ESCALONA, Alberto. Fundamentos de los sistemas de comunicaciones móviles. Evolución y tecnologías, 2004. Mc Graw Hill, España. ISBN: 84-481-4027-3.

[8] GARCIA Néstor. "Modelo de cobertura en redes inalámbricas basado en radiosidad por refinamiento progresivo", tesis doctoral. Universidad de Oviedo, Departamento de Informática. Marzo, 2006.

[9] Telefónica Móviles. Manual de Instalación de una BTS GSM. Movistar S.A, 2007.

[10] J. B. Andersen, T. S. Rappaport, and S. Yoshida. Propagation Measurements and Models for Wireless Communications Channels. IEEE Communications Magazine, vol. 33, pp. 42-49. January 1995.

[11] GUERRERO GUZMAN, Víctor Manuel. Análisis estadístico de series de tiempo económicas. Segunda edición. México: Editorial Thomson, 2003.

[12] DETHE, Chandrashekhar y WAKDE D.G. On the prediction of packet process in network traffic using FARIMA time series model. Department of Electronics, College of Engineering, India. 2003.

Luis Fernando Pedraza Martinez
Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital, Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital. Actualmente se desempeña como Docente de planta de la Facultad Tecnológica de la Universidad Distrital y como investigador de los grupos Internet Inteligente y Gidenutas. **lfpedrazam@udistrital.edu.co**

Cesar Augusto Hernández Suárez
Ingeniero Electrónico de la Universidad Distrital, Colombia. Especialista en Interconexión de Redes y Servicios Telemáticos de la Universidad Manuela Beltrán. Magíster en Ciencias de la Información y las Comunicaciones de la Universidad Distrital, y actualmente adelanta estudios de maestría en Economía en la Universidad de los Andes. Es Docente de la Universidad Distrital en el área de los circuitos digitales y el procesamiento digital de señales. **cahernandezs@udistrital.edu.co**
Octavio Salcedo

Octavio José Salcedo Parra
Ingeniero de Sistemas de la Universidad Autónoma de Colombia, de Bogotá, Colombia. Se desempeña como Docente en la Universidad Distrital Francisco José De Caldas y en la Universidad Nacional de Colombia. Imparte asignaturas del campo de redes de datos **octavionetworking@gmail.com**